
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2012/2013 Academic Session

January 2013

EEE 453 – CONTROL SYSTEM DESIGN
[REKABENTUK SISTEM KAWALAN]

Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of **FIFTEEN (15)** pages including Appendices (3 pages) of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **LIMA BELAS (15)** muka surat beserta Lampiran **TIGA (3)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini]*

Instructions: This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru]

“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai]

1. (a) Pertimbangkan sistem berikut.

Consider the following system.

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 2 & -3 \\ 4 & -5 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} u$$

$$y = (-3 \ 2) x$$

- (i) Dapatkan matriks penjelmaan T dan T^{-1} yang mengubah persamaan keadaan ke dalam bentuk berkanun kebolehkawalan (CCF). Dari matriks penjelmaan T , cari model CCF untuk A_c , B_c dan C_c .

Find the transformation matrix T and T^{-1} that transforms the state equations into the controllable canonical form (CCF). From the transformation matrix T , find the CCF model A_c , B_c and C_c .

(20 markah/marks)

- (ii) Kirakan gandaan suap balik F apabila kutub telah berpindah ke $\{-4, -5\}$
Compute the feedback gain F when the poles have been moved to $\{-4, -5\}$

(20 markah/marks)

- (iii) Dapatkan matriks penjelmaan T dan T^{-1} yang mengubah persamaan keadaan ke dalam bentuk berkanun kebolehcerahan (OCF). Dari matriks penjelmaan T , dapatkan model OCF untuk A_o , B_o and C_o .

Find the transformation matrix T and T^{-1} that transforms the state equations into the observable canonical form (OCF). From the transformation matrix T , find the OCF model A_o , B_o and C_o .

(20 markah/marks)

- (iv) Kirakan gandaan pemerhati L apabila kutub pemerhati telah diubah ke $\{-4, -5\}$

Compute the observer gain L when observer poles have been assigned to $\{-4, -5\}$

(20 markah/marks)

- (b) Rangkap pindah berikut menunjukkan sistem linear masa tak berubah. Terbitkan persamaan dinamik dalam bentuk vektor matriks.

The following transfer function shows linear time-invariant system. Derive the dynamic equation in vector-matrix form.

$$G(s) = \frac{s+2}{s^2+7s+12}$$

(10 markah/marks)

- (c) Rangkap persamaan kebezaan berikut mewakili sistem linear masa tak berubah. Terbitkan persamaan dinamik dalam bentuk vektor matriks.

The following transfer differential equation represent linear time-invariant system. Derive the dynamic equations in vector-matrix form.

$$2\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 3\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 5\frac{dy(t)}{dt} + 2y(t) = r(t)$$

(10 markah/marks)

2. (a)

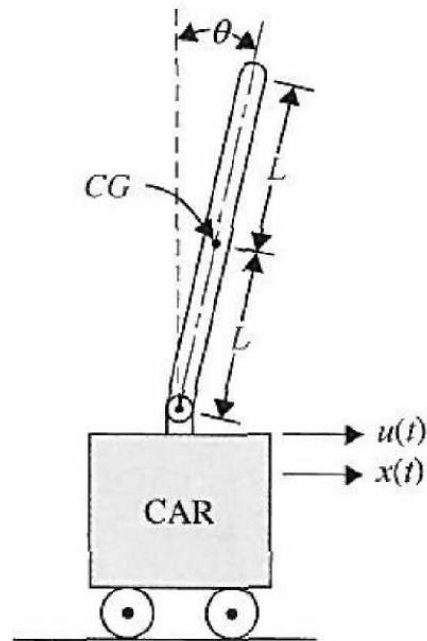


Figure 2.1: Broom-balancing control model

Rajah 2.1 menunjukkan sistem "pengimbang penyapu" dalam sistem kawalan. Objektif sistem kawalan adalah untuk mengekalkan penyapu dalam kedudukan tegak dengan daya $u(t)$ digunakan untuk pedati seperti yang ditunjukkan. Dalam aplikasi praktikal, sistem ini mirip kepada masalah satu dimensi kawalan pengimbang ekasikal atau peluru berpandu selepas sahaja dilancarkan. Isyarat kecil persamaan keadaan lurus model sistem adalah $\Delta \dot{x}(t) = A^* \Delta x(t) + B^* \Delta r(t)$ di mana

Figure 2.1 shows a well-known “broom-balancing” system in control systems. The objective of the control system is to maintain the broom in the upright position by means of force $u(t)$ applied to the car as shown. In practical applications, the system is analogous to a one-dimensional control problem of the balancing of a unicycle or a missile immediately after launching. The small-signal linearized state equation model of the system is $\Delta \dot{x}(t) = A^* \Delta x(t) + B^* \Delta u(t)$ where

$$A^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 25.92 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -2.36 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B^* = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.0732 \\ 0 \\ 0.0976 \end{bmatrix}$$

- (i) cari persamaan cirian A^* dan hasil puncanya.

find the characteristic equation of A^ and its roots.*

(20 markah/marks)

- (ii) Tentukan kebolehkawalan sistem, S

Determine the controllability of the system, S

(10 markah/marks)

- (iii) Untuk sebab-sebab ekonomi, hanya satu pembolehubah keadaan adalah diukur untuk mengembali suapan. Persamaan keluaran ditulis sebagai $\Delta y(t) = C^* \Delta x(t)$ di mana

For economical reason, only one of the state variables is to be measured for feed back. The output equation is written as $\Delta y(t) = C^ \Delta x(t)$ where*

- [1] $C^* = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$ (10 markah/marks)
[2] $C^* = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ (10 markah/marks)
[3] $C^* = [0 \ 0 \ 1 \ 0]$ (10 markah/marks)
[4] $C^* = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$ (10 markah/marks)

Tentukan yang C^* adalah sepadan dengan kebolehceraapan sistem.
Determine which C^ corresponds to an observable system.*

- (b) Rangkap pindah suatu sistem kawalan linear adalah
The transfer function of a given linear control system is

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{s + \alpha}{s^3 + 7s^2 + 14s + 8}$$

- (i) Tentukan nilai-nilai α , supaya sistem tersebut adalah sama ada tidak boleh kawal atau tidak boleh dicerap.

Determine the value(s) of α , such that the system is either uncontrollable or unobservable.

(10 markah/marks)

- (ii) Dengan nilai-nilai α yang didapati di bahagian (i), tentukan pemboleh ubah keadaan yang mana salah satu daripadanya mereka adalah tidak boleh dicerap.

With the value(s) of α found in part (i), define the state variables such that one of them is uncontrollable.

(10 markah/marks)

...7/-

- (iii) Dengan nilai-nilai α yang didapati di bahagian (i), tentukan pemboleh ubah keadaan yang mana salah satu daripadanya mereka adalah tidak boleh cerap.

With the value(s) of α found in part (i), define the state variables such that one of them is unobservable.

(10 markah/marks)

3. (a)

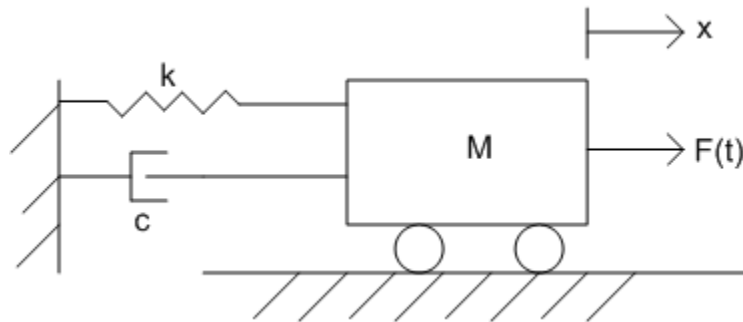


Figure 3.1 : Mass-spring-damper system

Pertimbangkan suatu sistem yang mempunyai satu darjah kebebasan seperti dalam Rajah 3.1. Ini adalah mana-mana sistem kejuruteraan yang tindak balas boleh bergerak hanya dalam satu arah. Bagi sistem di atas, diberi $M = 1$, $c = 3$, $k = 2$.

Consider a single degree of freedom system as shown in Figure 3.1. This is any engineering system whose response can move in only a single direction. For the above system, given $M = 1$, $c = 3$, $k = 2$.

...8/-

- (i) Terbitkan satu model keadaan ruang untuk sistem ini, dengan anggapan bahawa daya F dianggap sebagai masukan dan halaju v sebagai keluaran.

Derive a state space model for this system, assuming that the force F is considered as input and the velocity v is considered as the output.

(10 markah/marks)

- (ii) Cari rangkap pindah $G(s)$ untuk sistem tersebut.

Find the transfer function $G(s)$, of the system.

(10 markah/marks)

- (iii) Dapatkan kutub dan sifar untuk sistem tersebut.

Find the poles and zeros of the system.

(10 markah/marks)

(b)

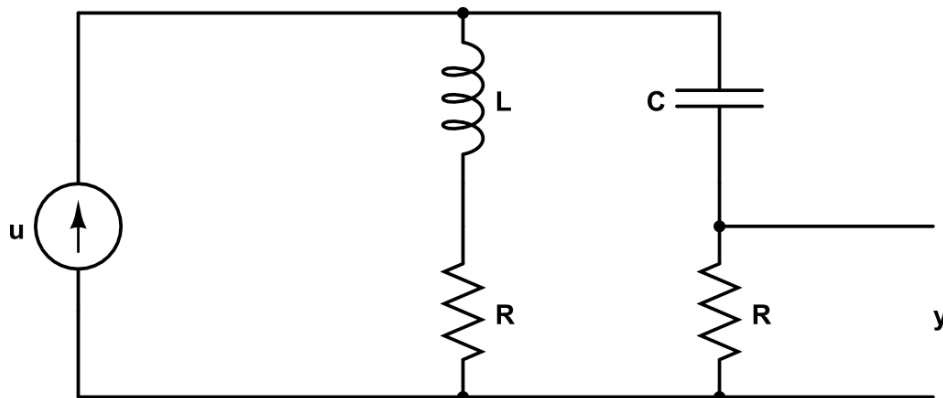


Figure 3.2: An RLC circuit

Bagi litar RLC dalam Rajah 3.2 di atas

For the RLC circuit in Figure 3.2 above

...9/-

- (i) Tuliskan persamaan (keadaan) dalaman bagi litar. Masukan $u(t)$ adalah arus, dan keluaran y adalah voltan. Biar $x_1 = i_L$ dan $x_2 = v_C$.

Write the internal (state) equations for the circuit. The input $u(t)$ is a current, and the output y is a voltage. Let $x_1 = i_L$ and $x_2 = v_C$.

(10 markah/marks)

- (ii) Apakah keadaan-keadaan pada R , L , dan C yang akan menjamin sistem itu boleh dikawal?

What conditions on R , L , and C will guarantee that the system is controllable?

(10 markah/marks)

- (iii) Apakah keadaan-keadaan pada R , L , dan C yang akan menjamin bahawa sistem ini boleh cerap?

What conditions on R , L , and C will guarantee that the system is observable?

(10 markah/marks)

(c)

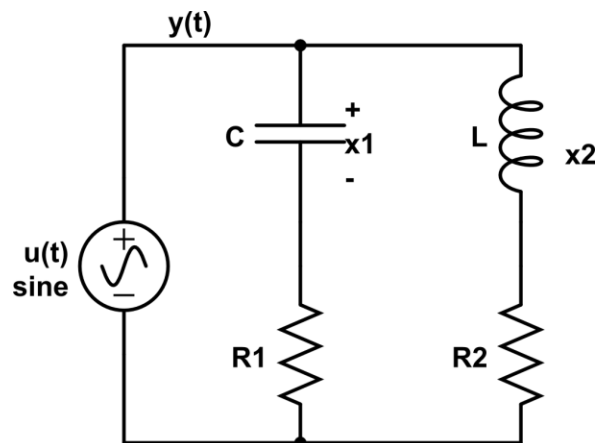


Figure 3.3 : An RLC circuit

Pertimbangkan litar dalam Rajah 3.3, dengan masukan voltan sumber $u(t)$ dan keluaran arus $y(t)$

Consider the circuit in Figure 3.3, with an input voltage source $u(t)$ and an output current $y(t)$.

- (i) Dengan menggunakan voltan kapasitor dan arus pengaruh sebagai pemboleh ubah keadaan, dapatkan persamaan keadaan dan keluaran bagi sistem tersebut.

Using the capacitor voltage and inductor current as state variables, write state and output equations for the system.

(10 markah/marks)

- (ii) Cari syarat yang berhubungan R_1 , R_2 , C , dan L yang menyebabkan sistem tidak terkawal. Cari satu set yang sama keadaan yang menyebabkan sistem tidak boleh dicerap.

Find the conditions relating R_1 , R_2 , C , and L that render the system uncontrollable. Find a similar set of conditions that result in an unobservable system.

(10 markah/marks)

- (iii) Tafsirkan syarat-syarat yang didapati dalam bahagian (ii) secara fizikal dari segi pemalar masa bagi sistem tersebut.

Interpret the conditions found in part (ii) physically in terms of the time constants of the system.

(10 markah/marks)

- (iv) Tentukan rangkap pindah sistem. Tunjukkan bahawa terdapat pembatalan kutub-sifar untuk syarat-syarat yang diperolehi dalam bahagian (ii) (iaitu, apabila sistem tidak terkawal atau tidak boleh cerap).

Find the transfer function of the system. Show that there is a pole-zero cancellation for the conditions derived in part (ii) (that is, when the system is uncontrollable or unobservable).

(10 markah/marks)

4. (a) Lakarkan satu gambarajah blok untuk mewakili masalah pengenalpastian sistem. Terangkan dengan jelas langkah-langkah yang terlibat dalam menjalankan pengenalpastian suatu sistem.

Draw a block diagram to represent the system identification problem. Explain in details the steps involved in carrying out system identification.

(50 markah/marks)

- (b) Prosedur pengenalpastian sistem boleh dilakukan dalam dua mod yang berbeza. Huraikan mod-mod tersebut.

The system identification procedure can be done in two different modes. Elaborate the modes.

(10 markah/marks)

- (c) Ambilkira suatu sistem sebagai $(1 + az^{-1})y(k) = bz^{-1}u(k) + e(k)$ di mana e ialah hingar putih purata sifar. Satu ujikaji telah dijalankan ke atas sistem ini bagi menganggarkan a dan b . Data berikut telah diperolehi:

Consider a system of $(1 + az^{-1})y(k) = bz^{-1}u(k) + e(k)$ where e is zero-mean white noise. An experiment is done on the system to estimate a and b . The following data are obtained:

k	1	2	3	4
$u(k)$	1	-1	-1	1
$y(k)$	12	4	-12	-4

Tentukan anggaran kuasa dua terkecil bagi \mathbf{a} dan \mathbf{b} .

Determine the least squares estimate of \mathbf{a} and \mathbf{b} .

(40 markah/marks)

5. (a) Terangkan dengan jelasnya langkah-langkah yang terlibat dalam menggunakan kaedah analitik pengoptimuman parameter dalam kawalan optimal.

Explain in detail the steps involved in employing the analytical approach of parameter optimization in optimal control.

(40 markah/marks)

- (b) (i) Merujuk kepada Rajah Q5, tentukan nilai-nilai optimal bagi parameter K_1 dan K_2 agar $J = \int_0^{\infty} [e^2(t) + 0.25u^2(t)] dt$ adalah minimal. Diberi $G(s) = \frac{100}{s^2}$ dan $R(s) = \frac{1}{s}$.

With reference to Figure Q5, determine the optimal values of parameters

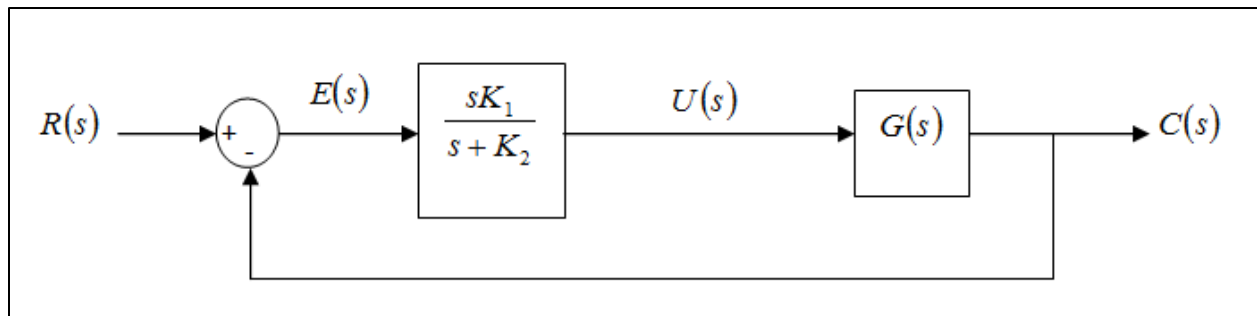
K_1 and K_2 such that $J = \int_0^{\infty} [e^2(t) + 0.25u^2(t)] dt$ is minimized. Given

$$G(s) = \frac{100}{s^2} \text{ and } R(s) = \frac{1}{s}.$$

- (ii) Cari matrik Hessian dan komen berkenaan pengoptimuman sistem tersebut.

Find the Hessian matrix and comment on the optimality of the system.

(60 markah/marks)



Rajah Q5
Figure Q5

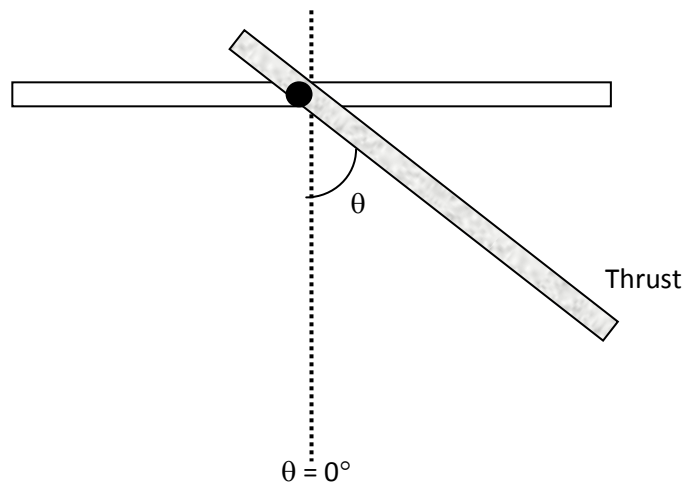
6. (a) Apakah set kabur dan bagaimana ianya berbeza dengan set rapuh konvensional? Dengan bantuan contoh yang sesuai, tunjukkan bagaimana rekabentuk kawalan logik kabur dapat dilaksanakan.

What is fuzzy set and how does it differ from the traditional crisp set? Using appropriate example(s), demonstrate how the fuzzy logic control design can be utilized.

(40 markah/marks)

- (b) Satu pengawal logik kabur perlu direkabentuk bagi suatu sistem bandul seperti yang ditunjukkan dalam Rajah Q6. Keluaran bagi pengawal tersebut adalah kedudukan penolak (LOW, NOMINAL, HIGH). Andaikan sudut bagi penolak adalah di antara -80 dan 80 darjah.

A fuzzy logic controller is to be designed for the pendulum system as shown in Figure Q6. The output of the controller is the position of the thrust (LOW, NOMINAL, HIGH). Assume the thrust angle is between -80 and 80 degrees.



Rajah Q6
Figure Q6

- (i) Cadangkan dua parameter masukan kepada enjin inferens kabur dan berikan justifikasi bagi cadangan anda.

Suggest two input parameters to the fuzzy inference engine, and give justification for your choices.

- (ii) Dengan menggunakan gambarajah, cadangkan fungsi keahlian kabur yang bersesuaian bagi masukan-masukan dan keluaran pengawal kabur.

Using a diagram, suggest suitable fuzzy membership functions for the inputs and output of the fuzzy controller.

- (iii) Rekabentuk suatu matrik peraturan 3 x 3 dan cadangkan satu set peraturan bagi enjin inferens kabur tersebut.

Design a 3 x 3 rule matrix and suggest a set of rules for the fuzzy inference engine.

- (iv) Berdasarkan (i) dan (ii), terangkan bagaimana pengawal logik kabur berfungsi.

Based on (i) and (ii), explain how the fuzzy logic controller functions.

(60 markah/marks)

